温度对产虫茶昆虫紫斑谷螟生长发育的影响

尚小丽[1], 杨茂发[1], 张昌容[1,2], 蔡 兰[3], 冯友丽[1], 邱 婷[1]
(1. 贵州大学昆虫研究所/贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025;
2. 浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058; 3. 息烽县农业局, 贵州息烽 551100)

摘要: 为探明温度对贵州主要产虫茶昆虫紫斑谷螟 *Pyralis farinalis* (Linnaeus)生长发育的影响, 本研究以白茶 *Litsea coreana* 为寄主植物, 分别设置5个恒温(19, 22, 25, 28 和31℃)条件, 研究温度对紫斑谷螟卵、幼虫、蛹和未成熟期平均发育历期、发育速率和存活率的影响, 计算各虫态发育起点温度和有效积温。结果表明: 温度对紫斑谷螟各虫态发育历期、发育速率和存活率影响显著。在19 ~ 31℃范围内, 各虫态的平均发育历期均随温度的升高而缩短, 卵期、幼虫期、蛹期及未成熟期均在31℃达到最小值, 分别为4.56 ± 0.24, 43.33 ± 1.50, 7.89 ± 0.20和55.78 ± 1.69 d。紫斑谷螟各虫态发育速率与温度呈二次回归关系, 且极显著相关。此外, 温度显著影响各虫态存活率, 卵的存活率在28℃时最高, 为93%; 幼虫和蛹的存活率则在25℃最高, 分别为88%和93%; 温度过高或过低均不利于其生长发育。由直接最优法计算得到紫斑谷螟卵期、幼虫期、蛹期及未成熟期的发育起点温度分别为13.30, 15.48, 13.19 和14.82℃, 有效积温依次为88.36, 679.51, 159.73 和952.04 日 · 度。这些结果为紫斑谷螟的繁殖提供了基础参考数据, 对指导虫茶生产有实用参考价值。

关键词: 紫斑谷螟; 白茶; 生长发育; 存活率; 发育起点温度; 有效积温; 虫茶
中图分类号: Q968.1 Q969.97 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2013)06-0671-09

Effects of temperature on the growth and development of *Pyralis farinalis* (Lepidoptera: Pyralidae), one insect used for producing insect tea in China

SHANG Xiao-Li[1], YANG Mao-Fa[1,*], ZHANG Chang-Rong[1,2], CAI Lan[3], FENG You-Li[1], QIU Ting[1]
(1. Guizhou Key Laboratory for Plant Pests Management of Mountainous Region, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Institute of Insect Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. Agricultural Bureau of Xifeng County, Xifeng, Guizhou 551100, China)

Abstract: In order to reveal the effects of temperature on the growth and development of *Pyralis farinalis* (Linnaeus) on host plant *Litsea coreana*, one insect used for producing insect tea in China, a laboratory experiment was conducted to study the mean developmental duration, developmental rate, and survival rate of *P. farinalis* at 31, 28, 25, 22 and 19℃. The developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *P. farinalis* in egg, larval, pupal and immature stages were also calculated. The results showed that temperature had significant effects on the developmental duration, developmental rate and survival rate of *P. farinalis*. The developmental duration of egg, larva, pupa and immature stage of *P. farinalis* reduced with increasing temperatures from 19 to 31℃, and was the shortest at 31℃, being 4.56 ± 0.24, 43.33 ± 1.50, 7.89 ± 0.20 and 55.78 ± 1.69 d, respectively. There also existed remarkable significant quadratic regression relationships between the temperature and developmental rates of *P. farinalis*. In addition, the temperature had significant effects on survival rate of *P. farinalis*. The survival rate of eggs was the highest at 28℃, being 93%, while those of larvae and pupae were the highest at 25℃, being 88% and 93%, respectively, and excessively high or low temperature was unfavorable to its survival. Based on the direct optimal method, the developmental threshold temperatures of *P. farinalis* in egg, larval, pupal and immature stages were 13.30, 15.48, 13.19 and 14.82℃,

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260526); 贵州省社会发展攻关项目(黔科合SZ字[2009]3027号); 贵州省优秀科技教育人才省长专项基金(黔省专合字[2008]11号)
作者简介: 尚小丽, 女, 1983年生, 河南平顶山人, 博士研究生, 研究方向为昆虫资源及其利用, E-mail: shang20077@yahoo.com.cn
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: yangmaofa@sohu.com
收稿日期 Received: 2013-01-09; 接受日期 Accepted: 2013-05-22

respectively, and the corresponding effective accumulated temperatures were 88.36, 679.51, 159.73 and 952.04 day-degrees, respectively. The results provide a basis for rearing *P. farinalis* and are applicable in productive practice of insect tea.

Key words: *Pyralis farinalis*; *Litsea coreana*; growth and development; survival rate; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature; insect tea

紫斑谷螟 *Pyralis farinalis* (Linnaeus)又称粉螟、大斑粉螟、粉缟螟蛾、谷粉大螟蛾或果子缟螟蛾，隶属鳞翅目螟蛾科，全世界分布广泛，国内主要分布于河北、山东、陕西、江苏、浙江、湖南、四川、台湾、广东、广西、贵州(王平远，1980；尚小丽等，2011)，其幼虫为害粮食、油料、中药材、干果和茶叶等，为世界性仓库害虫(陈耀溪，1984；邓望喜，1992；张宏宇，2009)。近年来作者首次发现紫斑谷螟是我国产虫茶昆虫种类之一，在贵州省被广泛用于虫茶生产中(尚小丽等，2011)。虫茶作为我国特有的林业资源昆虫产品，源于特种昆虫取食特种植物后所产生的排泄物(廖铅生等，1995；雷鸣和卢晓黎，2001)。贵州北部地区以当地白茶(学名豹皮樟 *Litsea coreana*，属樟科木姜子属植物)为寄主植物饲养紫斑谷螟所生产的虫茶即为紫斑谷螟白茶虫茶，简称紫白虫茶。

在我国由于虫茶固有的稀有性和优于常规茶的营养保健价值(李时珍，1982；雷鸣和卢晓黎，2001)，使其自古以来便具有广阔的国内外市场。然而目前我国虫茶生产主要集中在湘桂川黔等少数民族聚集的地区，由当地农户进行生产，因此一直面临着生产方式原始老旧，产品质量无法保证的问题(雷鸣和卢晓黎，2001)。作为生产主体的产虫茶昆虫，目前国内虽有记录(廖铅生等，1995；雷鸣和卢晓黎，2001)，但深入研究也相对较少，主要集中在对湖南城步地区以三叶海棠为寄主植物的米缟螟所开展的一系列研究(文礼章等，1996；文礼章，1997；文礼章等，1997，2002，2004；郭时印等，2008)。此外，作者也曾对贵州息烽地区以白茶为寄主植物的主要产茶昆虫之一米缟螟的生态学特征进行过研究报道(尚小丽等，2012)。作为贵州省另一主要产虫茶昆虫，紫斑谷螟曾以仓库害虫的定位被广泛记载和报道(Payne，1927；Arbogast and Byrd，1981；Madrid and Sinha，1982；王永卫，1982；赵养昌等，1982；陈耀溪，1984；邓望喜，1992；Trematerra and Fiorilli，1999；Hill，2003；张宏宇，2009)，但文献多久远或描述粗略缺乏系统研究，在产虫茶昆虫方面对紫斑谷螟的相关研究更是鲜有记载，仅 2011 年本文作者对以白茶为寄主植物的紫斑谷螟的生物学特征进行过研究报道(尚小丽等，2011)。

鉴于上述虫茶研究现状，为丰富我国虫茶研究内容，弥补相关方面的不足，本文通过研究不同恒温条件对以白茶为寄主的紫斑谷螟生长发育和存活的影响，确立了紫斑谷螟的发育起点温度、有效积温和最适发育温度范围，以期为贵州产茶昆虫紫斑谷螟的规模化繁殖和紫白虫茶的产业化生产提供理论依据和技术支撑，并为我国其他虫茶品种的相关生产工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试饲料和虫源

1.1.1 供试饲料及预处理：供试饲料白茶来源于贵州省赤水市，由豹皮樟幼嫩枝叶直接经暴晒或晾干后所得。在饲喂紫斑谷螟前需先对白茶进行预处理，将白茶放入干燥箱中于 60℃ 干燥 24 h 以杀死茶叶中的螨类等，待镜检合格后，将干燥好的白茶放入保鲜盒内(35 cm × 25 cm × 25 cm)，在保鲜盒口罩一纱布(45 cm × 25 cm)，其上放一湿润棉布，加盖放置 3 ~ 4 d 待茶叶充分回软后即可使用。

1.1.2 供试昆虫及种群的建立：供试昆虫紫斑谷螟采自贵州省赤水市。为建立紫斑谷螟种群，首先在紫斑谷螟生长活跃时期从赤水地区生产虫茶的固定农户和企业厂房采集虫茶生产的半成品(其内主要包括食料和幼虫，可能含有蛹和卵)和成虫虫源带回。对于虫茶半成品，采回后先将其放置在已装有回软白茶的保鲜盒内，保鲜盒口上方放有纱布及湿润棉布进行保湿，每 2 ~ 3 d 棉布加湿一次，于室内自然条件下对半成品内的虫源进行饲养。由于带回的虫茶半成品内可能存在虫源品种不单一的问题，因此待保鲜盒内有成虫羽化出后，需依紫斑谷螟成虫的形态特征将其取出，于室内自然条件下放入另一养虫箱(50 cm × 38 cm × 30 cm)，内有回软白茶、纱布、湿润棉布等，使紫斑谷螟成虫在此交尾、产卵，并以此为起点饲养 2 代以建立种群，备用。而

对于从赤水采集的紫斑谷螟成虫虫源，只需将其于室内自然条件下放入养虫箱(50 cm × 38 cm × 30 cm)内，重复上述成虫部分的饲养步骤即可。

1.2 试验条件

使用宁波江南仪器厂生产的 RXZ 智能型人工气候箱，设置 5 个温度 19，22，25，28 和 31℃(±0.5℃)处理，RH 80%±5%，黑暗条件。

1.3 温度对紫斑谷螟生长发育影响

在上述 5 个恒温条件件处理下，均进行以下操作。首先用指形管将养虫箱中初羽化的紫斑谷螟成虫取出配对，并移到产卵瓶(9 cm × 10 cm)内，每瓶移入 1 对成虫，放入已沾有浓度为 10% 蜂蜜水的棉球一个，以此为营养饲喂成虫。待成虫产卵后，用细毛笔将卵(≤ 10 h)挑入事先已依次垫入海绵、黑布、塑料薄膜并加有少许清水，直径为 7 cm 的培养皿内，以保鲜膜封口昆虫针扎洞进行孵化培养。每 6 h 观察 1 次，期间保持皿底海绵的湿润。幼虫和蛹均采用单头饲养的方法，将初孵幼虫单头挑入装有足量回软白茶的塑料瓶(直径 4 cm，高 6 cm)内，瓶口依次放上纱布、湿棉球并加盖瓶盖以保湿，幼虫化蛹后将瓶内多余茶叶取出，仅留蛹及其外吐丝包裹的茶叶于瓶内。幼虫每 24 h 观察 1 次并更换发霉的茶叶，蛹每 6 h 观察 1 次，两者均间隔 3 d 加湿棉花 1 次。在此试验过程中详细记录 5 个温度条件下紫斑谷螟卵、幼虫和蛹的生长发育情况。本试验设置卵、幼虫和蛹分别为 100 粒、60 头和 20 头，2 组重复。

1.4 不同虫态发育速率与温度关系的预测模拟

将不同温度下紫斑谷螟卵、幼虫、蛹和未成熟期的发育历期进行加权平均，求出各虫态的平均发育历期，并将其转化为相应温度下的平均发育速率 V($V = 1/N$)，而后分别运用直线回归模型、二次回归模型和逻辑斯蒂模型进行回归分析，拟合紫斑谷螟卵、幼虫、蛹和未成熟期发育速率与温度的关系，通过相关系数 r 和 F 值分别在 0.05 和 0.01 水平上显示各回归模型下发育速率与温度这两个因素相关的显著性，并以此为据得出最优的拟合模型。

1.5 发育起点温度和有效积温的计算

采用目前常用的直线回归法(丁岩钦，1994；张孝曦，2002)和直接最优法(李典谟和王莽莽，1986)计算紫斑谷螟不同发育阶段的发育起点温度 C 和有效积温 K。

其中，直线回归法计算公式如下：

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2};$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2};$$

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{(n-2)} \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{V}^2}{\sum (V - \bar{V})^2}\right]};$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{(n-2) \sum (V - \bar{V})^2}}。$$

式中：T 为试验温度，V 为发育速率，$\bar{V}$ 为平均发育速率，T' 为理论温度，C 为发育起点温度，K 为有效积温，n 为处理数，S_c 和 S_k 分别为 C 和 K 的标准差。

直接最优法计算公式如下：

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i T_i - \bar{D} \sum_{i=1}^{n} D_i T_i}{\sum_{i=1}^{n} D_i - n \bar{D}^2};$$

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} [D_i (T_i - C)]。$$

式中：D 为发育历期，T 为温度，i 为温度处理，n 为处理数。

为比较 2 种计算方法所得结果的优劣，以不同方法计算出的各虫态的发育起点温度 C 为依据，根据方差 S^2 的大小计算变异系数 CV。计算公式为：

$$K_i = D_i (T_i - C); \bar{K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} K_i;$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (\bar{K} - K_i)^2; CV = \frac{\sqrt{S^2}}{\bar{K}}。$$

式中：i 为温度处理，T_i 为实验所定的温度，D_i 为温度为 T_i 下的发育历期，K_i 为不同温度处理对应的有效积温，n 为处理数。

1.6 数据统计与分析

采用 Excel 和 SPSS18.0 对数据进行处理分析。对不同虫态在不同温度条件下的发育历期参数进行正态分布检验后，将符合正态分布的数据采用 Duncan 氏新复极差法在显著性水平 0.05 的条件下进行单因素方差分析，以揭示各虫态在不同温度条件下发育历期参数间的差异显著性。文中紫斑谷螟发育速率与温度关系图和不同虫态存活率图均利用 Origin8.5 制作。

2 结果与分析

2.1 不同温度下紫斑谷螟的平均发育历期

紫斑谷螟卵、幼虫和蛹不同温度下的平均发育历期如表 1 所示，在 RH 80%，19 ~ 31℃ 黑暗条件下，上述各虫态和整个未成熟期均能完成发育，且发育历期均随着温度的升高而缩短。研究结果表明，紫斑谷螟不适在低温条件下生活，19 ~ 31℃ 范围内，各虫态在 19℃ 时发育历期最长，生长最慢；31℃ 时紫斑谷螟发育最快，历期最短。

Duncan 氏方差分析发现，温度对紫斑谷螟卵、幼虫和蛹的发育历期及整个未成熟期影响显著。紫斑谷螟卵期、幼虫期和未成熟期在 19，22，25，28 和 31℃ 这 5 个温度条件下均彼此差异显著（$P < 0.05$）；而温度对蛹期的影响在 19℃ 和 22℃ 间无显著差异，但两者分别和其他 3 个温度条件下的蛹期彼此差异显著（$P < 0.05$）。

2.2 紫斑谷螟不同虫态发育速率与温度的关系

通过利用 SPSS 软件对表 1 数据分别进行线性回归、二次回归和逻辑斯蒂曲线拟合分析，得到紫斑谷螟不同虫态发育速率（V）与温度（T）关系的 3 个预测模型，不同虫态下各模型回归方程和显著性检验结果见表 2。其预测结果表明，利用逻辑斯蒂回归模型分析发育速率与温度的关系仅适用于紫斑谷螟幼虫发育阶段和未成熟期，不适用于卵期和蛹期，而二次回归模型和线性回归模型则适用于上述各虫态。由显著性检验结果进一步分析发现，二次回归模型中紫斑谷螟卵、幼虫、蛹和未成熟期的发育速率与温度的关系均达到极显著水平（$P < 0.01$），而线性回归模型中则除蛹期外其他虫态均达到极显著水平。此外，紫斑谷螟各虫态二次回归模型的相关系数 r 均大于线性回归模型，且在蛹期两者差异最大。因此综上所述，19 ~ 31℃ 范围内，二次回归模型可更好地拟合紫斑谷螟不同虫态发育速率与温度的关系，应优先使用二次回归模型对紫斑谷螟各虫态的发育速率进行预测。

表 1 不同温度下紫斑谷螟的发育历期

Table 1 Developmental duration of *Pyralis farinalis* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	发育历期 Developmental duration (d)				
	19℃	22℃	25℃	28℃	31℃
卵 Egg	14.22 ± 0.32 a	10.20 ± 0.20 b	8.30 ± 0.15 c	6.33 ± 0.17 d	4.56 ± 0.24 e
幼虫 Larva	154.56 ± 2.83 a	124.70 ± 2.53 b	75.70 ± 1.87 c	50.11 ± 2.39 d	43.33 ± 1.5 e
蛹 Pupa	19.67 ± 0.60 a	18.60 ± 0.45 a	16.00 ± 0.52 b	12.67 ± 0.41 c	7.89 ± 0.20 d
未成熟期 Immature stage	188.44 ± 3.18 a	153.50 ± 2.86 b	100.00 ± 2.05 c	70.33 ± 3.07 d	55.78 ± 1.69 e

表中数据为平均值 ± 标准误，同一行数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著（Duncan 氏新复极差法分析）。Data in the table are mean ± *SE*, and those in the same row followed by different small letters are significant different ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test).

表 2 紫斑谷螟不同虫态发育速率（V）与温度（T）的预测模型

Table 2 Forecast models based on the developmental rate (V) of *Pyralis farinalis* at different stages and temperature (T)

发育阶段 Developmental stage	线性回归 Linear regression		二次回归 Quadratic regression		逻辑斯蒂回归 Logistic regression	
	线性回归模型 Linear regression model	显著性检验 Significance test	二次回归模型 Regression quadratic model	显著性检验 Significance test	逻辑斯蒂回归模型 Logistic regression model	显著性检验 Significance test
卵 Egg	$V = 0.012T - 0.172$	$r = 0.976^{**}$, $F = 61.217^{**}$	$V = 0.0007T^2 - 0.0232T + 0.2585$	$r = 0.996^{**}$, $F = 150.076^{**}$	–	–
幼虫 Larva	$V = 0.002T - 0.024$	$r = 0.983^{**}$, $F = 86.451^{**}$	$V = 0.00004T^2 - 0.0003T - 0.0014$	$r = 0.987^{**}$, $F = 36.883^{**}$	$V = 0.032/[1 + EXP(5.738 - 0.218T)]$	$r = 0.991^{**}$
蛹 Pupa	$V = 0.006T - 0.073$	$r = 0.899^{*}$, $F = 12.686^{*}$	$V = 0.0008T^2 - 0.0328T + 0.3965$	$r = 0.991^{**}$, $F = 54.986^{**}$	–	–
未成熟期 Immature stage	$V = 0.001T - 0.017$	$r = 0.986^{**}$, $F = 102.675^{**}$	$V = 0.00005T^2 - 0.0012T + 0.0106$	$r = 0.996^{**}$, $F = 123.545^{**}$	$V = 0.037/[1 + EXP(4.866 - 0.156T)]$	$r = 0.996^{**}$

V：发育速率 Developmental rate；T：环境温度 Environmental temperature. *：温度与发育速率在 0.05 水平显著相关 Significant correlation between temperature and developmental rate at the 0.05 level；**：温度与发育速率在 0.01 水平极显著相关 Extremely significant correlation between temperature and developmental rate at the 0.01 level.

运用线性回归和二次回归模型对紫斑谷螟卵、幼虫、蛹和未成熟期的发育速率与温度关系作图，其结果如图 1 所示，与上述结论相同，二次回归曲线可以更好的拟合两者的关系，这种优势在蛹期表现的最为突出。此外，通过图 1 还可得到与表 2 相同的另一结论，紫斑谷螟各虫态发育速率随着温度的升高而加快，且温度对其影响显著。由图 1 可见，卵期的发育速率受温度的影响变化最为明显，其次为蛹期，而幼虫期和未成熟期的发育速率与温度关系图则非常接近。这主要是因为紫斑谷螟幼虫期远长于卵期和蛹期，未成熟期作为昆虫卵期、幼虫期和蛹期的总和，其历期长短受幼虫期影响更加显著，故两者发育速率与温度的关系图也极为接近。

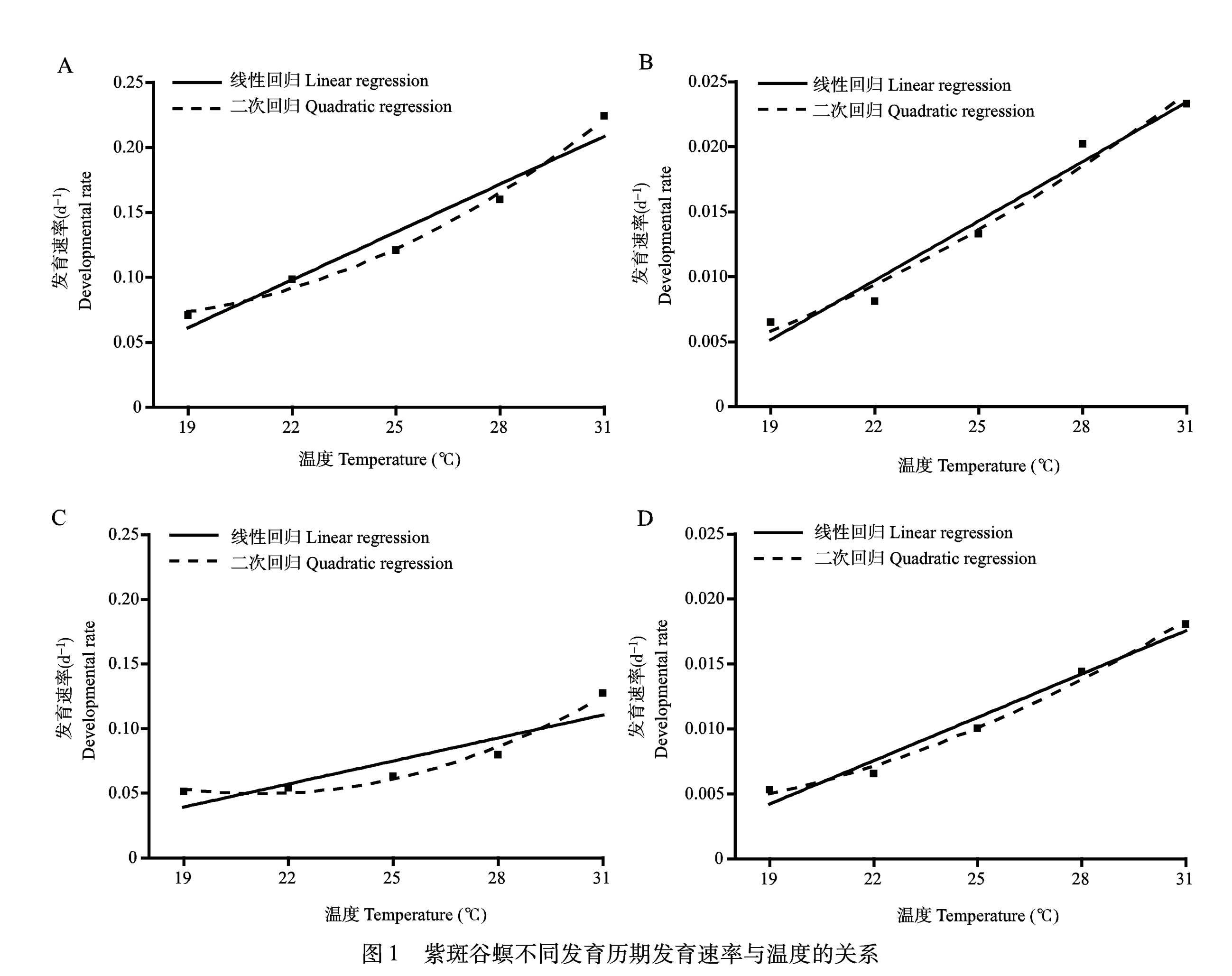


图 1　紫斑谷螟不同发育历期发育速率与温度的关系

Fig. 1　Relationship between temperature and developmental rate of *Pyralis farinalis* at different developmental stages

A：卵 Egg；B：幼虫 Larva；C：蛹 Pupa；D：未成熟期 Immature stage.

2.3　紫斑谷螟不同虫态发育起点温度和有效积温

本研究利用直线回归法和直接最优法，结合上述研究数据，分别得到紫斑谷螟卵、幼虫、蛹和未成熟期的的发育起点温度、有效积温和变异系数如表 3。

计算结果表明，紫斑谷螟不同发育阶段其发育起点温度和有效积温各不相同，同一发育阶段不同计算方法下的发育起点温度和有效积温亦不相同。从两种计算方法的变异系数来看，直接最优法各虫态的 *CV* 值均小于直线回归法，因此用直接最优法计算发育起点温度和有效积温略优于直线回归法。故以直接最优法计算结果为例，紫斑谷螟蛹期的发育起点温度最低，为 13.19℃，其次依次为卵期(13.30℃)和未成熟期(14.82℃)，幼虫期的发育起点温度最高，为 15.48℃；上述各虫态完成其发育阶段所需的有效积温，卵期最低，仅为 88.36 日·度，远低于蛹期的 159.73 日·度和幼虫期的 679.51 日·度，紫斑谷螟完成整个未成熟期所需的有效积温为 952.04 日·度。

表 3　紫斑谷螟不同虫态的发育起点温度和有效积温

Table 3　Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Pyralis farinalis* at different stages

发育阶段 Developmental stage	直线回归法 Linear regression method			直接最优法 Direct optimal method		
	发育起点温度(℃) Developmental threshold temperature	有效积温(日·度) Effective accumulated temperature (day-degree)	变异系数(%) Coefficient of variance (*CV*)	发育起点温度(℃) Developmental threshold temperature	有效积温(日·度) Effective accumulated temperature (day-degree)	变异系数(%) Coefficient of variance (*CV*)
卵 Egg	14.54 ± 1.44	77.61 ± 9.92	12.14	13.30	88.36	8.23
幼虫 Larva	15.95 ± 1.07	633.74 ± 68.16	16.71	15.48	679.51	14.91
蛹 Pupa	14.76 ± 3.07	136.34 ± 38.28	25.05	13.19	159.73	20.09
未成熟期 Immature stage	15.50 ± 1.02	873.73 ± 86.23	14.89	14.82	952.04	12.58

2.4　不同温度条件下下紫斑谷螟的存活率

不同温度下紫斑谷螟卵、幼虫、蛹及未成熟期的存活率如图 2 所示。结果表明，温度对紫斑谷螟各虫态的存活率影响显著，低温、高温均不利于紫斑谷螟的存活，且低温对上述各虫态存活率的影响较高温条件更为显著。低温对卵的存活率影响较大，19℃时虽各虫态的存活率均达到的最小值，但卵的存活率最低，仅为 61%；高温条件下紫斑谷螟卵、幼虫、蛹及未成熟期的存活率较 25℃和 28℃均有下降，但最低仍为 80% 左右，高于 19℃；卵、幼虫和蛹 3 个虫态中，蛹对温度的适应能力最强，19 ~ 31℃范围内，其存活率均在 78% 以上。28℃时，紫斑谷螟卵的存活率最高，为 93%；25℃时，幼虫和蛹的存活率最高，分别为 88% 和 93%。就紫斑谷螟整个未成熟期而言，25℃时的存活率最高，为 75%；其次为 28℃，达 73%；22℃和 31℃时紫斑谷螟未成熟期的存活率陡然下降，19℃时最低，仅为 31%。由此可见紫斑谷螟的最适发育温度范围应为 25 ~ 28℃，低温和高温均不利于紫斑谷螟的生长发育，其中尤以低温影响更为显著。

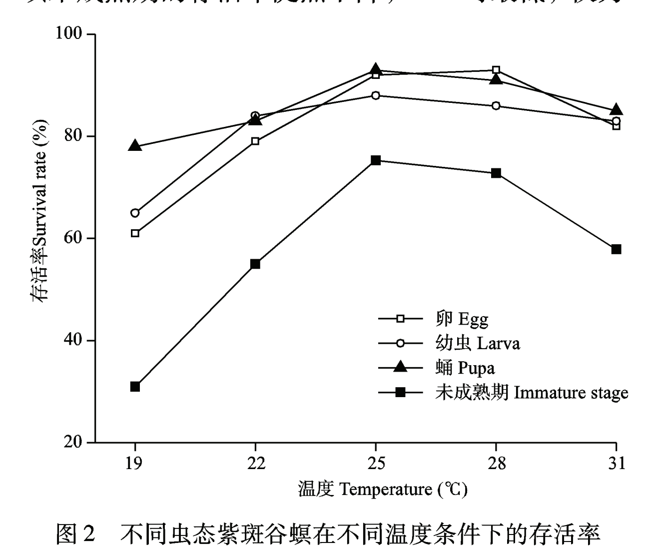


图 2　不同虫态紫斑谷螟在不同温度条件下的存活率

Fig. 2　Survival rates of *Pyralis farinalis* in different stages at different temperatures

3　讨论

温度是气象因素中对昆虫影响最为显著的因素，昆虫作为变温动物，自身无恒定体温，因此温度的改变将直接导致昆虫体温和新陈代谢速度的变化(丁岩钦，1994)。本研究探讨了温度对以白茶为食料的紫斑谷螟各虫态(卵、幼虫、蛹及未成熟期)发育和存活的影响，基本明确了紫斑谷螟不同虫态的发育起点温度和有效积温，填补了该产虫茶昆虫生态学特性研究空白。结果表明，在试验温度 19 ~ 31℃范围内，紫斑谷螟各虫态发育历期与存活率均存在明显差异。

本研究发现，19 ~ 31℃范围内，产虫茶昆虫紫斑谷螟卵、幼虫、蛹及未成熟期均能正常发育，且发育历期随温度的升高而缩短，各虫态在 19℃时历期最长，31℃时最短，发育速率与温度呈极显著的二次曲线正相关。紫斑谷螟不同虫态对温度的耐受性不同，其主要表现在存活率方面，研究结果表明低温、高温均不利于紫斑谷螟各虫态的存活，其中低温影响更为显著。紫斑谷螟卵的存活率在 28℃时最高，幼虫和蛹的存活率则在 25℃时最高，就整个未成熟期而言，在 25 ~ 28℃时紫斑谷螟存活率最高，均在 70% 以上，22℃ 和 31℃ 时则陡然下降，19℃时最低。因此，在 25 ~ 28℃范围内，紫斑谷螟各虫态不仅发育历期短发育速率快，且存活率较高，故 25 ~ 28℃应为产虫茶昆虫紫斑谷螟的最适发育温度。该结论与陈耀溪(1984)对仓库害虫紫斑谷螟的报道部分内容基本一致，陈耀溪认为 24 ~

27℃为紫斑谷螟的适宜发育温度范围。此外，赤水地区每年 6 –9 月份气温恰处紫斑谷螟上述最适发育温度范围内，而该时期也正是当地产虫茶昆虫紫斑谷螟的活动旺盛时期（尚小丽等，2011），由此可见本研究结果与其实际发生情况相符。

结合当地气候条件，利用昆虫的发育起点温度和有效积温，不仅可以了解该种昆虫的地理分布，还可预测其发生期并计算出在该地区发生的世代理论值。赤水地处贵州省西北部，赤水河中下游，属中亚热带湿润季风气候区，冬暖春早，夏季炎热，年平均气温为 18.1℃，年均相对湿度 82%，夏季平均气温最高达 28℃左右。根据本研究结果中产虫茶昆虫紫斑谷螟卵、幼虫、蛹和未成熟期的发育起点温度（直接最优法）分别为 13.30，15.48，13.19 和 14.82℃，经历整个未成熟期的有效积温为 952.04日・度的结论，结合赤水市上述气候条件便不难解释紫斑谷螟成为该地区主要产虫茶昆虫的原因。另外通过赤水年有效积温结合紫斑谷螟未成熟期有效积温，还可粗略推算出赤水地区该产虫茶昆虫一年可发生代数。因此，通过研究温度对紫斑谷螟各虫态平均发育历期、发育速率和存活率的影响，模拟最适合其发育速率和温度关系的回归方程，并利用较优的方法精确计算各虫态的发育起点温度和有效积温，不仅能够有效集成产虫茶昆虫的繁殖技术体系，正确指导虫茶生产，还可以解决目前贵州多数地区虫茶生产盲目原始、无据可依的现状。

另本研究部分结果与前人存在一些不同。陈耀溪（1984）、邓望喜（1992）和张宏宇（2009）等曾对仓库害虫紫斑谷螟各虫态的发育历期进行过简要报道，其文献均记载温度 24 ~27℃、相对湿度 89 ~100% 条件下，仓库害虫紫斑谷螟的卵期为 5 ~7 d，幼虫期25 ~60 d，蛹期7 ~11 d，而本研究结果与上述结论有所不同。本试验发现，在无光照、25 ~28℃、RH 80%、以白茶为食料条件下，产虫茶昆虫紫斑谷螟的卵期为 6 ~8 d，幼虫期 50 ~76 d，蛹期 13 ~16 d。由于前人在上述报道中并未明确交待饲料、光照、试验设计和数据处理方法等，因此推测产生这些差异的原因，可能与试验设计、光照、湿度条件的选择、寄主植物的选择、寄主植物营养状况和加工方式、昆虫饲养和统计方法等的差异有关。

作者曾对紫斑谷螟在贵州赤水地区的年生活史进行过报道，调查发现紫斑谷螟在赤水地区第 1 代从 5 月上旬卵开始出现到 7 月上旬成虫羽化，历期约 60 d，第 2 代从 7 月中旬到 9 月下旬约 90 d。本文研究结果与上述调查存在差异。本研究在恒温恒湿条件下饲养的紫斑谷螟，25℃下未成熟期为 100 d，28℃下为 70 d。而在赤水地区，从 5 月上旬至 7 月上旬日均气温 28℃以上较少，但前文中 60 d 左右就可完成一代；对于赤水 7、8 月气温较高，前文中则需 90 d 左右才能完成一代。究其原因可能与以下因素有关：首先，温度并不是影响紫斑谷螟生长发育的唯一因素，作者在供试昆虫种群建立过程中发现，湿度对紫斑谷螟的生长发育也有明显影响，不同温湿度条件下的产虫茶昆虫的发育存活情况存在差异，该方面文礼章等（1997）曾对产虫茶昆虫米缟螟进行过相关报道，因此生活史调查地变温变湿与本研究中恒温恒湿条件的不同可能是产生调查与试验结果存在差异的主要原因；其次，紫斑谷螟幼虫喜群居生活，并长期生活在吐丝联缀食物形成的隧道内，赤水当地虫茶厂房（生活史调查地）具备以上条件，且厂房内自然变温条件较恒温也利于昆虫的生长（丁岩钦，1994），而本研究在试验观察中常翻看茶叶从而不同程度地破坏了幼虫的生活环境，且对幼虫采用的是恒温单瓶饲养的方法，所以紫斑谷螟 5 月上旬至 7 月上旬在赤水的实际发生历期短于实验室内的研究结果可能与上述原因有关；最后，前文关于紫斑谷螟生活史的研究主要是在当地生产虫茶的公司和农户家的厂房内进行，该厂房共同特点是在身处偏僻环境的楼房地下室或一楼位置，厂房内封闭较严且环境潮湿昏暗，受外界环境干扰因素较少，冬季保暖夏季阴凉，所以即便在 7 月中旬到 9 月下旬厂房内的温度也较少超过 28℃，故造成紫斑谷螟实际比 28℃恒温试验结果发育较慢的现象。

本研究仅报道了黑暗条件下，不同室内恒温条件对赤水主要产虫茶昆虫紫斑谷螟生长发育的影响，并对其发育起点温度和有效积温进行了估算，然而与恒温条件相比自然变温更利于昆虫的生长发育，前人（吕昭智等，2005）就曾利用 SSPM 模型对自然变温条件下昆虫的发育起点温度和有效积温进行深入计算。另经作者调查发现，紫斑谷螟幼虫喜高湿环境，在该环境条件下紫斑谷螟发育速率明显加快，此外除赤水地区，紫斑谷螟还是贵州息烽地区的产虫茶昆虫优势种，该地区对寄主植物白茶采取了不同于赤水的加工方式，使得息烽地区紫斑谷螟的生长发育情况有别于赤水地区。因此综上所

述，今后有必要进一步针对变温、湿度、营养等综合因子对紫斑谷螟生长发育的影响开展研究，以便更为全面、深入地揭示环境因子对其生长发育的影响机制，从而集成一套系统、高效的紫斑谷螟繁殖技术。

紫斑谷螟作为仓库害虫，整个幼虫期都藏匿于吐丝粘连茶叶形成的隧道中，反复破坏隧道极易导致其死亡，加上低龄幼虫具有个体小，蜕下的头壳难以发现的特性，这些均为紫斑谷螟幼虫龄期的观察带来了困难。此外，由于本研究对紫斑谷螟各温度下蛹的样品数设计较少，导致了试验过程中紫斑谷螟雌、雄成虫羽化不同步后可配对的成虫较少的现象。因此本文未涉及到温度对紫斑谷螟幼虫各龄期生长发育和成虫繁殖方面的影响，该不足还有待今后进一步完善。

致谢 承中国科学院动物研究所武春生研究员帮助鉴定紫斑谷螟学名，贵州大学生命科学学院苟光前教授帮助鉴定豹皮樟学名，贵州省赤水市竹基地建设办公室袁勤生常务副主任及绿色生态产业有限公司王德斌总经理在野外调查过程中给予大力帮助，谨致谢忱。

参考文献（References）

Arbogast RT, Byrd RV, 1981. External morphology of the eggs of the meal moth, *Pyralis farinalis* (L.), and the murky meal moth, *Aglossa caprealis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 10(5-6): 419-423.

Chen YX, 1984. Stored Insect Pests. China Agriculture Press, Beijing. 371-373. [陈耀溪, 1984. 仓库害虫. 北京: 中国农业出版社. 371-373]

Deng WX, 1992. Urban Entomology. China Agriculture Press, Beijing. 64-65. [邓望喜, 1992. 城市昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 64-65]

Ding YQ, 1994. Mathematical Ecology of Insects. Science Press, Beijing. 318-332. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 318-332]

Guo SY, Xu WX, Wen LZ, Huang YM, Wang F, 2008. The nutrient analysis and evaluation of Sanye insect-fermented tea. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(1): 128-132. [郭时印, 许伍霞, 文礼章, 黄忆明, 王锋, 2008. 三叶虫茶营养成分的分析与评价. 昆虫知识, 45(1): 128-132]

Hill DS, 2003. Pests of Stored Foodstuffs and Their Control. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 393-413.

Lei M, Lu XL, 2001. Study on Chinese sandy tea resource and present situation. *Food Science*, 22(11): 100-102. [雷鸣, 卢晓黎, 2001. 中国虫茶资源及研究现状. 食品科学, 22(11): 100-102]

Li DM, Wang MM, 1986. A study on fast estimation of developmental threshold temperature and effective accumulated temperature. *Entomological Knowledge*, 23(4): 184-187. [李典谟, 王莽莽, 1986. 快速估计发育起点及有效积温法的研究. 昆虫知识, 23(4): 184-187]

Li SZ (Ming Dynasty), 1982. Compendium of Materia Medica (Volume 2). People's Medical Publishing House, Beijing. 2306. [李时珍(明), 1982. 本草纲目(下册). 北京: 人民卫生出版社. 2306]

Liao QS, Zhou DZ, Liang YP, Xiao SY, 1995. Development and utilization of insect faeces as tea in China. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 17(1): 97-99. [廖铅生, 周德中, 梁艳萍, 肖双燕, 1995. 中国虫茶资源开发利用. 江西农业大学学报, 17(1): 97-99]

Lv ZZ, Tian JH, Shen ZR, Tian CY, Wang T, 2005. Single Sine phonological model of thermal accumulation and its application. *Chinese Journal of Ecology*, 24(12): 1549-1552. [吕昭智, 田建华, 沈佐锐, 田长彦, 王涛, 2005. 有效积温Sine函数拟合模型及其应用. 生态学杂志, 24(12): 1549-1552]

Madrid FJ, Sinha RN, 1982. Feeding damage of three stored-product moths (Lepidoptera: Pyralidae) on wheat. *Journal of Economic Entomology*, 75(6): 1017-1020.

Payne NM, 1927. Freezing and survival of insects at low temperatures. *Journal of Morphology*, 43(2): 521-546.

Shang XL, Yang MF, Huang L, Gou GQ, 2011. Biological characteristics of *Pyralis farinalis* Linnaeus - a newly reported insect producing the "insect-tea". *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 652-656. [尚小丽, 杨茂发, 黄丽, 苟光前, 2011. 一种新的产虫茶昆虫——紫斑谷螟的生物学特性研究. 应用昆虫学报, 48(3): 652-656]

Shang XL, Yang MF, Huang L, Gou GQ, 2012. Effects of temperature on the growth and development of *Aglossa dimidiata* parasitized on *Litsea coreana*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(11): 3045-3050. [尚小丽, 杨茂发, 黄丽, 苟光前, 2012. 温度对以白茶为寄主的米缟螟生长发育的影响. 应用生态学报, 23(11): 3045-3050]

Trematerra BP, Fiorilli F, 1999. Occurrence of arthropods in a central Italy feed-mill. *Journal of Pest Science*, 77(6): 158-163.

Wang PY, 1980. Economic Insect Fauna of China, Fasc. 21. Lepidoptera: Pyralidae. Science Press, Beijing. 95. [王平远, 1980. 中国经济昆虫志, 第21册. 鳞翅目: 螟蛾科. 北京: 科学出版社. 95]

Wang YW, 1982. A preliminary research on *Pyralis farinalis* Linnaeus. *Xinjiang Agricultural Sciences*, (4): 16-17. [王永卫, 1982. 紫斑谷螟的初步研究. 新疆农业科学, (4): 16-17]

Wen LZ, 1997. A study on the temperature threshold effective temperature - sum of *Aglossa dimidiata* H. development. *Journal of Hunan Agricultural University*, 23(4): 347-351. [文礼章, 1997. 产虫茶昆虫——米缟螟各虫态发育历期与温湿度关系研究. 湖南农业大学学报, 23(4): 347-351]

Wen LZ, Guo HM, Li JW, Yin RC, Duan ZQ, 1996. Analyse of the biological safety and major chemical components of Sanye insect tea.

Journal of Hunan Agricultural University, 22(6): 574 - 579. [文礼章，郭海明，黎家文，殷汝才，段志强，1996. 三叶虫茶的生物安全性及其主要化学成分分析. 湖南农业大学学报，22(6): 574 - 579]

Wen LZ, Guo HM, Tang SQ, 1997. A study of the relationship between survival, reproduction, quantity of insect-tea produced of *Aglossa dimidiata* H., and suitable temperature and relative humidity. *Journal of Hunan Agricultural University*, 23(2): 137 - 144. [文礼章，郭海明，唐淑琼，1997. 产虫茶昆虫——米缟螟存活繁殖及产茶适宜温湿度范围的研究. 湖南农业大学学报，23(2): 137 - 144]

Wen LZ, Li YZ, Shen ZR, 2002. Bionomics of black rice worm, *Aglossa dimidiata*. *Entomological Knowledge*, 39(3): 206 - 209. [文礼章，李有志，沈佐锐，2002. 米缟螟的生物学特性. 昆虫知识，39(3): 206 - 209]

Wen LZ, Shen ZR, Zang XB, Hu YX, 2004. Toxicological assessment on safety of Chinese Sanye chongcha. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 4(2): 83 - 87. [文礼章，沈佐锐，藏雪冰，胡怡秀，2004. 三叶虫茶的安全性毒理学评价. 中国食品学报，4(2): 83 - 87]

Zhang HY, 2009. Storage Technology of Grain and Seed. Jindun Publishing House, Beijing. 93 - 95. [张宏宇，2009. 粮食与种子贮藏技术. 北京：金盾出版社. 93 - 95]

Zhang XX, 2002. Insect Ecology and Forecasting. China Agriculture Press, Beijing. 218 - 220. [张孝羲，2002. 昆虫生态及预测预报. 北京：中国农业出版社. 218 - 220]

Zhao YC, Li HX, Gao JY, 1982. Faunal Investigation of Stored Insect Pests in China. China Agriculture Press, Beijing. 128 - 130. [赵养昌，李鸿兴，高锦亚，1982. 中国仓库害虫区系调查. 北京：中国农业出版社. 128 - 130]

（责任编辑：袁德成）